

УДК 628.33

Т.О. ШЕВЧЕНКО, кандидат технічних наук  
Харківський національний університет міського господарства  
імені О.М. Бекетова

### **ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ БІОГЕННИХ РЕЧОВИН У МІСЬКИХ СТІЧНИХ ВОДАХ, ЩО СКИДАЮТЬСЯ, НА ПОВЕРХНЕВІ ВОДОЙМИ**

*Показаний негативний вплив скиду недостатньо очищених стічних вод на поверхневі водойми, зокрема біогенних речовин. Проаналізовано основні методи очистки стічних вод від сполук азоту та фосфору. Обґрунтовано застосування біологічних методів очищення, показано, що ефективність видалення фосфатів обумовлена дозою реагенту та його видом, а ефективність видалення азоту – концентрацією органічних речовин у вихідній стічній воді.*

**Ключові слова:** поверхневі водойми, сполуки фосфору, сполуки азоту, біологічна очистка, хімічне видалення забруднень.

*Показано негативное влияние сброса недостаточно очищенных сточных вод на поверхностные водоемы, в частности биогенных веществ. Проанализированы основные методы очистки сточных вод от соединений азота и фосфора. Обосновано применение биологических методов очистки, показано, что эффективность удаления фосфатов обусловлена дозой реагента и его видом, а эффективность удаления азота – концентрацией органических веществ в сточной воде.*

**Ключевые слова:** поверхностные водоемы, соединения фосфора, соединения азота, биологическая очистка, химическое удаление загрязнений.

*The article shows the negative impact of discharge of insufficiently treated wastewater into surface waters, particularly nutrients. Analyzed the main methods of wastewater treatment by nitrogen and phosphorus compounds. The application of biological methods of cleaning. It is shown that promises more effective removal*

*of phosphates caused dose reagent and its views. The efficiency of removal of nitrogen due to the concentration of organic substances in the waste water.*

**Key words:** surface water, phosphorus, nitrogen, biological treatment, chemical removal of contaminants.

Питне водопостачання країни майже на 80% забезпечується за рахунок поверхневих вод. Якість води у поверхневих водних об'єктах є вирішальним чинником санітарного та епідемічного благополуччя населення. Забезпечення населення України питною водою є для багатьох регіонів країни однією з пріоритетних проблем, розв'язання якої необхідно для збереження здоров'я, поліпшення умов діяльності і підвищення рівня життя населення [1, 41].

Сучасний незадовільний стан водних об'єктів показує, що проблеми у сфері охорони вод від забруднення та виснаження не тільки не знайшли вирішення, а й значно загострилися, особливо в останні роки. Проведеними дослідженнями якості води поверхневих водойм, які є джерелами питного водопостачання – Червонооскільське водосховище, р. Оскіл та р. Сіверський Донець, був виявлений ряд показників, які мають концентрації у водах, що перевищують граничнодопустимі концентрації: концентрації сполук азоту та фосфору (табл. 1).

Основною з причин такого стану поверхневих водойм, які є джерелами питного водопостачання декількох населених пунктів трьох регіонів, є скидання недостатньо очищених господарсько-побутових стічних вод м. Ізюму. Такі висновки були зроблені після вивчення результатів аналізів очищених стічних вод, що скидаються з очисних споруд системи водовідведення м. Ізюму за 2008-2014 роки.

З проведеного аналізу витікає, що нітрифікація проходить практично до кінця: амонійний азот переходить у нітрити, а потім у нітрати. Загальний вміст амонійного азоту у каналізаційних скидах збільшується з року в рік.

Тому нагальною є проблема видалення сполук азоту та фосфору зі стічних вод Ізюмського комунального виробничого водопровідно-каналізаційного підприємства шляхом реконструкції очисних споруд та удосконалення існуючої технології біологічного очищення стічних вод.

Регламентування вмісту біогенних елементів тільки за останній час набуло широкого розголосу через різке погіршення стану водних об'єктів, їх евтрофікації. У разі надходження поживних речовин (біогенних елементів) разом зі стічними водами швидкість протікання процесів фотосинтезу різко збільшується, призводячи до бурного розвитку водоростей та вищої водної рослинності [2, 41].

Таблиця 1

## Вміст сполук азоту та фосфору у воді поверхневих водойм регіону

Поверхнєве джерело	Точка відбору проби води	Показник якості води	Концентрація у джерелі, мг/дм <sup>3</sup>	ГДК відповідно класу якості, мг/дм <sup>3</sup>
Червонооскільське водосховище	Поверхневий горизонт	азот амонійний	0,11	0,3
		азот нітратний	<b>2,10</b>	> 1
		азот нітритний	<b>0,14</b>	> 0,05
		фосфор фосфатний	0,1	0,2
	Придонний горизонт	азот амонійний	0,02	0,1
		азот нітратний	0,37	0,5
		азот нітритний	0,03	0,05
		фосфор фосфатний	<b>0,23</b>	> 0,2
Річка Оскіль	Поверхневий горизонт	азот амонійний	0,03	0,1
		азот нітратний	0,01	0,2
		азот нітритний	0,001	0,002
		фосфор фосфатний	0,14	0,2
	Нижній б'єф	азот амонійний	0,01	0,1
		азот нітратний	0,05	0,2
		азот нітритний	0,001	0,002
		фосфор фосфатний	0,15	0,2
Річка Сіверський Донець (вище м. Ізюму)	Поверхневий горизонт	азот амонійний	0,06	0,1
		азот нітратний	<b>1,39</b>	> 1
		азот нітритний	<b>0,12</b>	> 0,05
		фосфор фосфатний	<b>0,62</b>	> 0,2
Річка Сіверський Донець (нижче м. Ізюму)	Поверхневий горизонт	азот амонійний	0,15	0,3
		азот нітратний	<b>1,07</b>	> 1
		азот нітритний	<b>0,13</b>	> 0,05
		фосфор фосфатний	<b>0,64</b>	> 0,2

Підвищення рівня трофності супроводжується зміною складу фітопланктону – починають переважати синьо-зелені водорості (90...95% від загальної чисельності), прибережні мілководні зони заростають вищою водною рослинністю. Буйний розвиток водоростей перешкоджає роботі водозабірних споруд та рибному промислові, зменшує гідравлічні параметри потоку (швидкості берегових течій), цвітіння водойм також призводить до зниження органолептичних показників води.

Найгіршими наслідками евтрофікації є погіршення якісних показників питної води та масовий замор риби [3, 185].

Присутність у стічних водах біогенних елементів – сполук азоту й фосфору започатковує процеси цвітіння та евтрофікації водойми, що змінює фізико-хімічні властивості середовища: в евтрофованих водоймах підвищується вміст біогенних і органічних речовин, знижується рівень насиченості води киснем, у придонних шарах з'являються анаеробні зони, зростає каламутність води, забрудненість її мікроорганізмами, які

потрапляють туди із стічними водами, в тому числі патогенними. Накопичення надлишкової кількості органічних речовин у донних мулових відкладеннях супроводжується утворенням метану, водню, сірководню, аміаку, які можуть виділятися у вигляді бульбашок, а при розчиненні у воді надають їй неприємного запаху і справляють токсичну дію на рибу, безхребетних і рослини, особливо при низьких температурах, що призводить до нестачі кисню й масової загибелі риби [4, 282].

Традиційна біологічна очистка дозволяє видалити основну масу органічно забруднюючих речовин, але не спроможна забезпечити достатню, за вимогами теперішнього часу, глибину видалення сполук азоту та фосфору, а також органічних речовин (БСК, ХСК). У процесі очистки відбувається трансформація та часткове (20...40%) видалення амонійного азоту та фосфору. При цьому в ході очистки протікають процеси амоніфікації та наступної нітрифікації азоту, а також гідроліз сполук фосфору.

Сполуки фосфору зі стічних вод видаляються такими методами: фізико-хімічний, адсорбційний, електро-коагуляційно-флотаційний, біологічний.

Найпоширенішим на теперішній час являється біологічний метод видалення сполук фосфору через те, що вказані вище методи мають ряд істотних недоліків з точки зору експлуатації споруд та економічної доцільності застосування того чи іншого методу.

Було встановлено [5, 223], що розчинені фосфати, акумулюються деякими видами бактерій зі стічних вод у аеробних умовах, вони накопичуються в клітинах бактерій у вигляді поліфосфатів та використовуються в якості джерела енергії для підтримки обміну речовин у період несприятливих умов, наприклад, короткочасної відсутності розчиненого кисню. Цю здатність бактерій і використовують для видалення фосфатів без або за мінімального застосування реагентів. Здатністю в аеробному стані накопичувати значну кількість фосфатів, а в анаеробному – виділяти їх володіють бактерії родів *Acinetobacter*, *Acetobacter*, *Nocardia* та деякі інші. Застосування анаеробно-аеробної технології дозволяє підвищити ступінь видалення фосфатів до 80...90%.

Основним методом біологічного видалення фосфору є метод з анаеробною обробкою циркулюючого активного мулу (рис. 1), застосування такої технології дозволяє видаляти фосфати з ефективністю  $\approx 90\%$  [3, 187].

В даній системі видалення фосфору відбувається з надлишковим мулом та муловою водою, що утворюється в споруді для анаеробної обробки мулу.

У разі використання схеми, запропонованої на рис. 2, почерговій аеробній та анаеробній обробці підлягає суміш стічної рідини та активного мулу, а фосфор з системи виводиться з надлишковим мулом.

В технології *Phoredox* (рис. 3) активний мул зі вторинного відстійника направляється в анаеробну зону, а мулова суміш з аеробної зони, так же як і у попередній схемі, повертається в першу аноксидну зону.

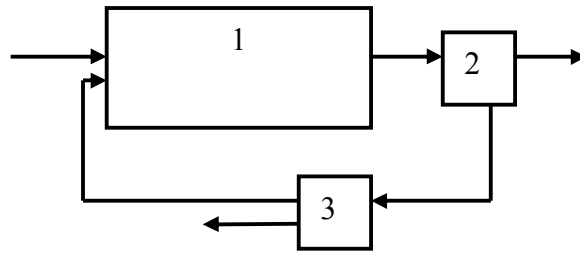


Рис. 1. Метод біологічного видалення фосфору:  
**1** – аеротенк; **2** – відстійник; **3** – споруда для анаеробної обробки

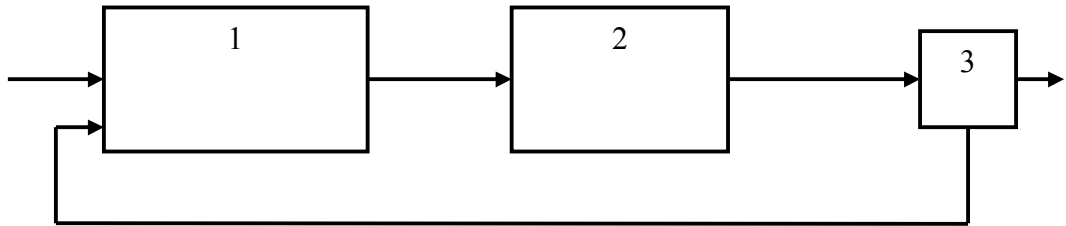


Рис. 2. Метод біологічного видалення фосфору A/O (Anaerobic-Oxic):  
**1** – анаеробна зона; **2** – аеробна зона; **3** – вторинний відстійник

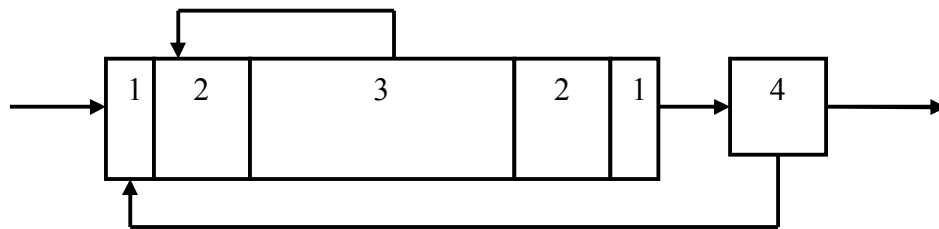
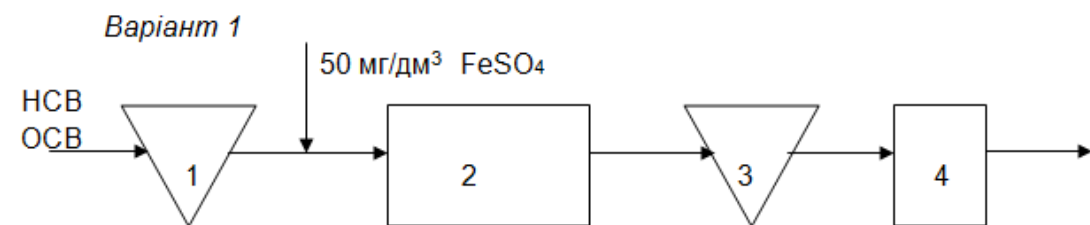


Рис. 3. Метод біологічного видалення фосфору *Phoredox*:  
**1** – анаеробна зона; **2** – аноксидна зона; **3** – аеробна зона; **4** – вторинний відстійник

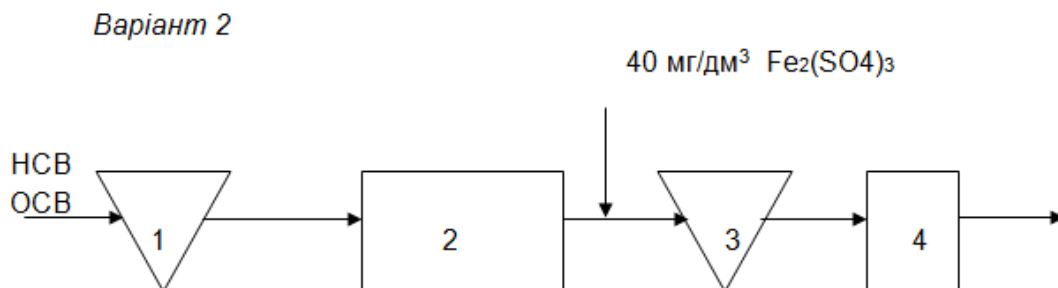
Для підвищення ефективності очистки стічних вод від грубо дисперсних та колоїдних забруднень використовують мінеральні коагулянти. В останні роки застосовують також синтетичні флокулянти самостійно або разом з коагулянтами (солями алюмінію та заліза) і вапном [6, 305].

Дослідження схем біохімічної очистки міських стічних вод з введенням реагенту показали, що ефективність видалення фосфатів обумовлена дозою реагенту та його видом (рис. 4).

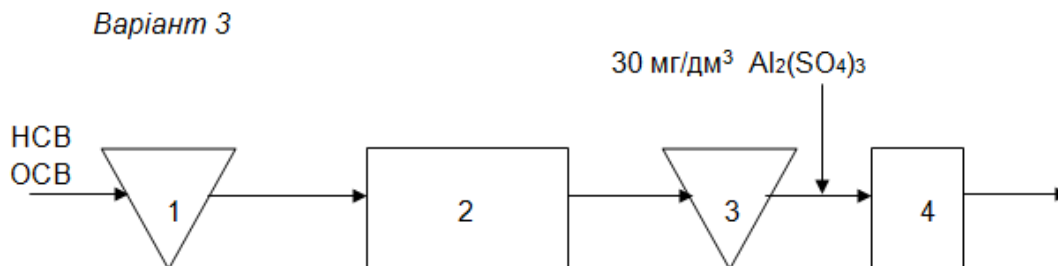
Так, у разі введення  $25 \text{ мг/дм}^3 \text{ Fe}_2\text{O}_3$  після вторинних відстійників досягається видалення загального фосфору на 75...80 % з остаточним вмістом завислих речовин  $10...15 \text{ мг/дм}^3$ .



Параметри, мг/дм <sup>3</sup>	Після вторинного відстійника	Після піщаного фільтру
БСК	10...15	3,5
Завислі речовини	10	2,0
Загальний фосфор	0,8	0,6
Ортофосфати-Р	0,1	0,1



Параметри, мг/дм <sup>3</sup>	Після вторинного відстійника	Після піщаного фільтру
БСК	10	2,5
Завислі речовини	10...20	2,0
Загальний фосфор	1,0	0,7
Ортофосфати-Р	0,3	0,3



Параметри, мг/дм <sup>3</sup>	Після вторинного відстійника	Після піщаного фільтру
БСК	10	1,0...1,5
Завислі речовини	10...15	< 10
Загальний фосфор	2,5...3,0	0,5
Ортофосфати-Р	2	0,2-0,3

Рис. 4. Реагентне видалення сполук фосфору  
 1 – первинний відстійник; 2 – аеротенк; 3 – вторинний відстійник; 4 – піщаний фільтр;  
 НСВ – неочищені стічні води; ОСВ – очищені стічні води

Більш високі концентрації завислих речовин в очищеній воді (30...36 мг/дм<sup>3</sup>) зумовлюють зниження ефективності видалення сполук фосфору до 55...60% з тією ж дозою реагенту. Фільтрування стічної води через піщані фільтри після вторинних відстійників призводить до підвищення ефективності видалення загального фосфору в цілому до 90%.

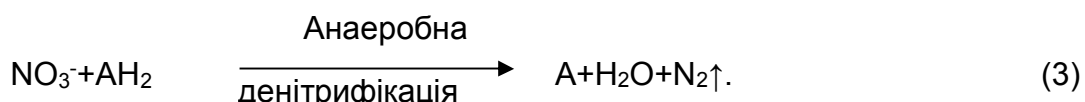
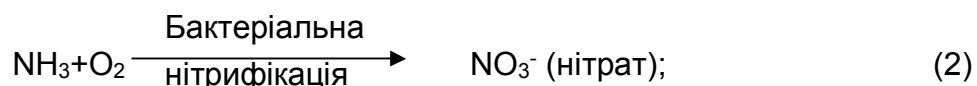
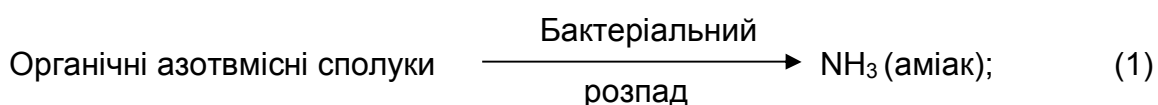
Якість очистки стічних вод за загальним фосфором, окрім дози реагенту та його виду, залежить від вмісту завислих речовин в очищених стічних водах.

Серед методів очистки стічних вод від сполук азоту відомі наступні: фізико-хімічні, електрохімічні, метод іонного обміну, біологічні [7, 157; 8, 28].

Все ці методи мають своє розповсюдження в різних галузях промисловості, але мають ряд недоліків, і тому не завжди можуть бути застосовані на практиці очистки стічних вод від біогенних елементів.

У разі розпаду азотовмісних органічних речовин у розчин виділяється аміак у відповідності зі схемою (1). В аеробних умовах бактерії активного мулу окислюють аміак в нітрит і далі в нітрат, як показує схема реакції (2). Бактерії - нітрифікатори являються автотрофними, використовуючи для синтезу енергію, яка виділяється під час окислення аміаку, і вуглець вуглекислого газу.

Бактеріальна денітрифікація за схемою (3) відбувається в анаеробних умовах, коли органічні речовини окислюються, а нітрат використовується в якості акцептора водню з виділенням при цьому газоподібного азоту:



Під час біологічної нітрифікації – денітрифікації відбувається окислення аміаку в нітрат та відновлення останнього у газоподібний азот. Важливі параметри кінетики бактеріальної нітрифікації – температура, рН і концентрація розчиненого кисню.

Швидкість протікання реакції помітно знижується у разі знижених температур; мінімально допустимою являється температура 8°C. Оптимальне значення рН складає приблизно 8,4, а вміст розчиненого кисню має перевищувати 1,0 мг/л.

На ступінь видалення азоту впливають чимало факторів, основними з яких являються концентрація органічних речовин у вихідній стічній воді. Для більш повного видалення азоту зі стічної рідини необхідно використовувати додатково живильний субстрат на стадії денітрифікації, в якості якого можуть

бути застосовані різні органічні речовини (оцтова кислота, ацетон, глюкоза, метанол, етанол та ін.) або стічні води багатьох виробництв.

Нітрифікація-денітрифікація за двохступеневою схемою, якій передуює біологічна очистка, забезпечує з розрахунковими витратами стічних вод зниження неорганічного азоту на 90% і загального азоту на 80...95% [9, 322].

Переваги біологічного видалення азоту полягають у тому, що у результаті процесу нітрифікації може бути досягнутий необхідний ступінь видалення аміаку (якщо виникає необхідність, потім проводять денітрифікацію). Крім того, таку систему можна пристосувати у якості доповнення до існуючої системи біологічної очистки.

Аналіз існуючих біологічних методів видалення біогенних елементів з господарсько-побутових стічних вод дозволяє зробити висновок, що вони не завжди можуть бути застосовані у технологічному процесі очистки стічних вод. Це зумовлено тим, що ефективність очистки залежить від багатьох факторів, таких як температура, рН, доза мулу, наявність легко окислюваної органіки та інш., які не завжди враховані під час експлуатації очисних споруд.

Усе вище наведене свідчить про те, що очисні споруди системи водовідведення м. Ізюму потребують нагальної реконструкції та вдосконалення існуючої технології очистки стічних вод, що можливо шляхом розробки та впровадження відповідного проекту.

### Список літератури

1. *О. В. Третьяков, В. Л. Безсонний, Т. О. Шевченко.* Підвищення рівня екологічної безпеки питного водопостачання Харківського регіону (Україна) // Східно-Європейський журнал передових технологій. Вип. 5/10 (77), жовт. 2015. С. 40-49.

2. *Т. А. Шевченко, А. Н. Коваленко.* Удаление азота и фосфора из хозяйственно-бытовых сточных вод // Водопостачання та водовідведення: Виробничо-практичний журнал. № 5, 2008. Київ: ТОВ «Гнозіс», 2008. С. 41-43.

3. *А. Н. Коваленко, Г. И. Благодарная, Т. А. Шевченко.* Анализ методов очистки сточных вод от биогенных элементов // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып. 74. К.: Техника, 2007. С. 185-190.

4. *Л.А. Саблій, Є.В. Кузьмінський, В.С. Жукова, М.В. Бляшина.* Технологія біологічного очищення стічних вод Української антарктичної станції «Академік Вернадський» // Український антарктичний журнал. № 13. 2014. С. 281–287.

5. *N. Matsche, G. Usrael, C. Ludwig.* Die biologische phosphorentfernung mit dem belebungskerfahren am beispiel von klarahlagen im eihzugsgebiet des neusiedler sees // Osterreichische Wasserwirtschaft, 1982. 34. № 9–10. С. 219-227.

6. *Шевченко Т. А.* Основные факторы, влияющие на выбор типа реагента при удалении соединений фосфора из бытовых сточных вод // Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво: Міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. № 34, 2009. Рівне: НУВГП, 2009. С. 303-308



7. Л. И. Дегтерева, Т. А. Шевченко. Кинематика процессов аммонификации, нитрификации, денитрификации // Коммунальное хозяйство городов: Научно-технический сборник. Вып. 93 К.: Техника, 2010. С. 156-161.

8. С. С. Душкин, А. Н. Коваленко, М. В. Дегтярь, Т. А. Шевченко. Ресурсосберегающие технологии очистки сточных вод: монография. Х.: ХНАГХ, 2011. 146 с.

9. О. В. Третьяков, В. Л. Безсонний, Т. О. Шевченко. Підвищення ефективності очищення побутово-промислових стоків // Збірка наукових статей, що видана за матеріалами VII міжнародної науково-методичної конференції НТУ «ХПІ» та 105-ї міжнародної конференції EAS – «Безпека людини в сучасних умовах», 3-4 грудня 2015 р.: за ред. проф. В.В. Березуцького. Харків, ГО СФБЖДЛ, 2015. С. 315–323.

*Надійшло до редакції 25.10.2016*